第38卷 第5期
2021年9月
干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH
Vol. 38 No. 5
Sep. 2021

准噶尔盆地植被变化趋势及相关因素分析

马小梅， 杜秉晨曦， 程勇翔， 吴 玲
（石河子大学生命科学学院，新疆 石河子 832002）

摘 要： 为探讨植被对环境变化的响应，采用2000—2019年MOD09A1遥感影像数据，利用最大值合成法、Mann-Kendall、Hurst趋势分析、水热配合分析等方法对准噶尔盆地植被动态变化及相关因素进行了分析。结果表明：受区域气候暖湿化、冷季降水增加及滴灌技术普及的影响，近20 a来准噶尔盆地植被整体呈增加趋势，增加区面积各季节平均占比为85.47%，减少区面积平均占比为12.61%。局部地势低洼易于积水、聚盐的区域植被表现为减少趋势。植被指数与盐渍化指数相关性分析表明两者呈负相关关系。绿洲区域植被变化主要受人类活动调控。Hurst趋势预测结果表明，盆地植被未来变化趋势方向与近20 a变化趋势的方向基本保持一致。研究结果对全球变暖和人类活动背景下盆地各生境植物群落的演替规律及成因具有一定的参考价值。

关键词： 气候；植被；盐渍化；相关性分析

全球气温升高，降水格局变化正明显驱动着全球各地区植被类型的改变。该变化对原本就敏感于环境变化的干旱区植被影响更加显著。准噶尔盆地气候总体由暖干向暖湿转变[1-2]，即气温显著升高的同时降水量一般性增加，且降水主要集中在一年中的两端[3]。气候的变化有利于准噶尔盆地荒漠短命植物的生繁。另外，膜下滴灌技术自20世纪90年代在准噶尔盆地开始大面积推广以来，因其对水分利用效率的提高[4]和对耕作层土壤盐分的调控[5]，绿洲内部大量原本不适宜农业耕作的盐渍化土地被开垦或重新利用，耕地面积明显增加[6]。当前环境变化正深刻影响着准噶尔盆地植被的变化，因此有必要对该变化过程进行深入研究。

Duan等[7]分析2000—2013年准噶尔盆地植被覆盖度变化，得出每年7月盆地植被覆盖度达到最高峰，而在盆地中部沙漠地区，从5月下旬到6月初短命植物明显繁盛。张静[8]基于1981—2006年AVHRR传感器获取的归一化植被指数（NDVI）数据发现该时段盆地植被覆盖度增加的区域面积占比为64.56%，植被覆盖度减少的面积占比为35.44%，其研究结果与刁鸣军等[9]利用1982—2013年GIMMS NDVI3g数据得出准噶尔盆地NDVI的变化规律基本一致。张清岚等[10]基于MODIS 13A3 NDVI月值数据得出准噶尔盆地年平均植被覆盖度值由2000年的0.23增加至2018年的0.26。上述研究结果均表明准噶尔盆地植被覆盖度在近年来总体呈上升趋势。

准噶尔盆地植被变化除受到气候变化的直接影响外，还与其他环境因子变化密切相关。因此，需要对植被变化进行综合分析。何宝忠等[11]基于MOD13A1 NDVI数据研究了植被和地貌类型对盐渍化的影响，得出植被繁茂区域多为非盐渍化和轻度盐渍化地区，稀疏植被区多为重盐渍化地区，且高程较低区域的盐渍化现象普遍较重的结论。Gu等[12]测量并分析准噶尔盆地南部阜康绿洲野外土壤盐分数据，张添佑等[13]利用玛纳斯河流域农业绿洲区遥感盐分指数（SI）分析土壤盐分与植被间的关系，两位学者的研究结果均表明植被覆盖度与土壤盐渍化程度密切负相关，土壤盐度是影响植被分布的重要因素。陈实等[14]基于MODIS数据，利用NDVI和SI指数对北疆农区土壤盐渍化状况进行研究，发现北疆农区土壤盐渍化程度受人类活动的影响，呈总体逆转、局部严重的变化趋势。He等[15]研究显示准噶尔盆地植被增加的原因主要是农业扩张。

收稿日期： 2020-08-21； **修订日期：** 2020-10-15
基金项目： 青年科学基金项目（31300406）
作者简介： 马小梅（1999-），女，主要从事生物技术研究. E-mail: 2369026798@qq.com
通讯作者： 程勇翔. E-mail: chengyongxiang_613@163.com

Dai等[16]利用GIMMS NDVI数据分析西北地区植被覆盖的时空变化，Yang等[17]选择净初级生产力(NPP)作指标探讨北疆植被退化和恢复情况，两位学者的研究结果一致表明人类活动是造成绿洲植被变化的主要原因。

基于上述学者所得相关结论，发现目前针对准噶尔盆地分析人类活动-气候-土壤-植被变化相互影响机制的综合研究还需要深入探讨。本研究拟通过探索该区植被变化与气候、人类活动、土壤盐渍化程度变化间的因果关系，全面掌握区域植被发展变化轨迹，其结果为准噶尔盆地生态环境建设提供科学依据。

1 研究区概况与方法

1.1 研究区概况

准噶尔盆地为中国第二大内陆盆地，位于阿尔泰山和天山之间(42°36′18″～48°39′30″N，82°17′44″～96°1′13″E)，呈不规则三角形，总面积约为3.8×10⁴·km²。盆地内有中国第二大沙漠古尔班通古特沙漠。盆地地势整体向西倾斜，北部略高于南部，西南部的艾比湖是盆地的最低点。盆地西侧有几处缺口，西风气流由缺口进入，为盆地及周围山地带来降水。盆地中绿洲主要分布于天山北麓和额尔齐斯河流域，主要以种植小麦、玉米、棉花、番茄等农作物为主(图1)。盆地代表性自然植物有梭梭(*Haloxylon ammodendron*、白梭梭(*Haloxylon Persicum*)及短命植物。盆地土壤以棕钙土和荒漠灰钙土为主，局部为龟裂土、草甸土和盐碱土等土壤类型。

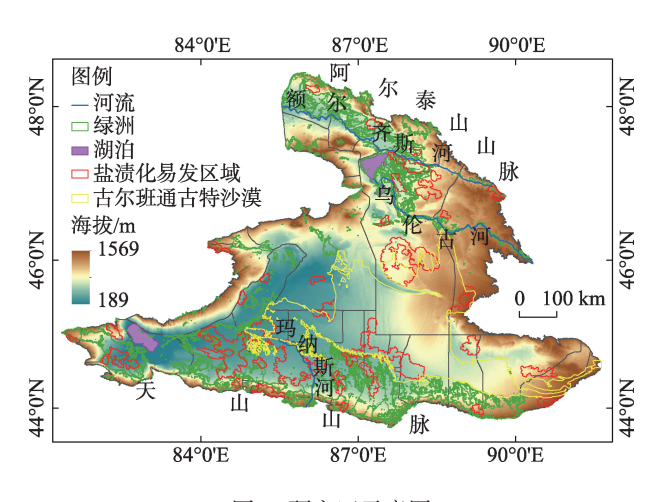


图1 研究区示意图

Fig. 1 Sketch map to the research area

1.2 数据来源

2000—2019年MOD09A1影像数据从美国国家航空航天局NASA的EOS/MODIS数据网(https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov)下载获取，轨道号为h23v04、h24v04，周期为8 d，空间分辨率为500 m。利用MRT (MODIS Reprojection Tools)软件进行拼接。利用地表反射率500 m状态信息，获取研究区各期晴空像元NDVI和土壤盐渍化指数(SRSI)。另外，从EOS/MODIS数据网中获取2000—2019年MOD11B3地表温度数据，时间分辨率为月，空间分辨率为0.05°。

从中国气象数据网(http://data.cma.cn/)获取1951—2019年全国601个基本、基准地面气象观测站的月值降水量和温度数据。对各站点观测数据不完整的年份，去除了相应整年数据。对于观测中缺少测量的数据，采用年代平均值法计算各站点每月的历史年代平均值，并用平均值进行替换，如利用1951—1955年某一站点1月平均值替换该站点这一时段某一年相应缺少测量的1月数据。经过筛选，最后得到可用站点数据594个，对气象数据进行相应指标计算和指标综合趋势分析，获得“气温，降水量，水热配合程度”变化趋势分析结果。

1.3 研究方法

1.3.1 最大值合成法 利用ArcGIS 10.5采用最大值合成法(Maximum Value Composite，MVC)分别获取2000—2019年各季节及生长季NDVI及SRSI的最大值。其中，逐年NDVI最大值统计时间为：春(3月6日—5月25日)、夏(5月26日—8月29日)、秋(8月30日—11月25日)、生长季(3月6日—11月25日)。SRSI最大值统计时间范围为：春(4月15日—5月25日)、夏(5月26日—8月29日)、秋(8月30日—10月15日)、生长季(4月15日—10月15日)。SRSI最大值统计时间范围可避免准噶尔盆地春、秋积雪对结果的影响，除此之外，利用SRSI变异系数小于90%的条件进一步排除雪山、河流和湖泊等高变异区域对结果的影响。

1.3.2 Man-Kendall趋势检验 该方法主要优点是所测数据无需服从一定的分布，能较好地减少数据误差，利用统计学理论进行显著性水平的检验，使得结果更加准确可靠。Man-Kendall趋势检验公式中 Z 为统计值[18]，在双边趋势检验中，对于给定的

置信水平 α,若 $|Z| \geq Z_{1-\alpha/2}$,即在置信水平 α 上,时间序列数据存在明显的上升或下降趋势。Z 为正值表示增加趋势,零值表示不变,负值表示减少趋势。本研究中当 α 为95%置信水平时,Z 的取值为1.96。指标变化趋势等级划分见表1。

表1 Man-Kendall趋势变化的等级划分

Tab. 1 Grading standards of the Man-Kendall trend

统计值	等级	缩写	赋值
$Z \geq 1.96$	显著增加	*SII*	2
$0 < Z < 1.96$	一般增加	*SLI*	1
$Z = 0$	不变	*Con*	0
$-1.96 < Z < 0$	一般减少	*SLD*	−1
$Z \leq -1.96$	显著减少	*SID*	−2

1.3.3 Hurst指数趋势预测 Hurst指数[19]在对累计离差 $x(t,\tau)$,极差 $R(\tau)$,标准差 $S(\tau)$ 计算的基础上,采用 $\log(R/S)_n = a + H \times \log n$ 公式可得到 H 值。根据 H 值判断所求序列是完全随机序列还是持续性序列。当 $0.5 < H < 1$,表明变量时间序列是一个持续性序列,即未来变化趋势与过去的变化趋势保持一致,且持续性随着 H 增大将愈强。当 $H = 0.5$,则说明变量时间序列为随机序列,无法根据现有规律预测未来变化,即不存在任何长期相关性。当 $0 < H < 0.5$,则表明变量时间序列为反持续性序列,即未来的变化趋势与过去的变化趋势相反,H 值越接近0,反持续性越强。

1.3.4 相关性分析方法 通过相关系数衡量各年气象站月值降水和月平均温度的水热配合程度[20],两者相关系数越高,则表明水热匹配程度越高,反之,水热匹配程度越低,所得结果再进行水热配合度的趋势分析。利用相关系数探讨NDVI与SRSI在各季节及生长季的相关关系,通过相关系数显著性检验(0.05水平)判定NDVI和SRSI二者间关系是否显著,所得结果再结合NDVI和SRSI趋势变化方向进行综合解释。

2 结果与分析

2.1 植被变化趋势

对2000—2019年NDVI年最大值时间序列数据进行了Man-Kendall趋势检验,对所得 Z 值按表1进行变化等级划分,结果如表2所示,准噶尔盆地NDVI值在春季、夏季、秋季和生长季都表现出整体增加趋势,增加区面积平均占比为85.47%。局部地区表现为减少趋势,减少区面积平均占比为12.61%。古尔班通古特沙漠春季和秋季NDVI呈显著增加的区域要大于夏季,春季和秋季显著增加面积占比分别为36.98%、21.18%,夏季显著增加占比为13.58%。夏季在沙漠中有部分地区NDVI值呈一般性减少趋势,其面积占比为9.06%。盆地绿洲区域NDVI夏季增加最为明显,呈显著增加趋势的面积占比高达79.62%,而在春季和秋季呈显著增加的面积占比则分别为29.54%、57.06%。

进一步对2000—2019年NDVI时间序列数据进行Hurst指数未来变化趋势预测分析(图2),准噶尔盆地各季节和生长季大部分区域的Hurst指数值大于0.5,表明盆地大部分地区植被未来变化趋势与近20 a变化趋势基本保持一致。荒漠区有部分植被未来变化趋势与当前增加的变化趋势相反,而绿洲区植被预测未来将继续增加,且变化趋势明显。

2.2 影响植被变化的相关因素

2.2.1 土壤盐渍化对植被变化的影响 利用2000—2019年SRSI年最大值时间序列数据进行了M-K趋势检验,对所得 Z 值按表1进行变化等级划分,结果如表3和图3所示,准噶尔盆地SRSI整体呈逐年减小趋势,减少区面积各季节平均占比达78.60%,局

表2 2000—2019年准噶尔盆地NDVI各等级面积变化及占比

Tab. 2 The area and proportion of NDVI trend rating in the Junggar Basin from 2000 to 2019

等级	春季		夏季		秋季		生长季	
	面积/(10^5 km^2)	占比/%	面积/(10^5 km^2)	占比/%	面积/(10^5 km^2)	占比/%	面积/(10^5 km^2)	占比/%
显著减少	0.08	2.23	0.04	1.05	0.03	0.74	0.04	0.93
一般减少	0.42	11.27	0.48	12.68	0.38	10.17	0.3	7.98
不变	0.07	1.73	0.06	1.68	0.08	2.04	0.04	1.04
一般增加	2.20	58.52	2.13	56.67	2.29	61.07	2.02	53.64
显著增加	0.99	26.25	1.05	27.92	0.98	25.99	1.37	36.41

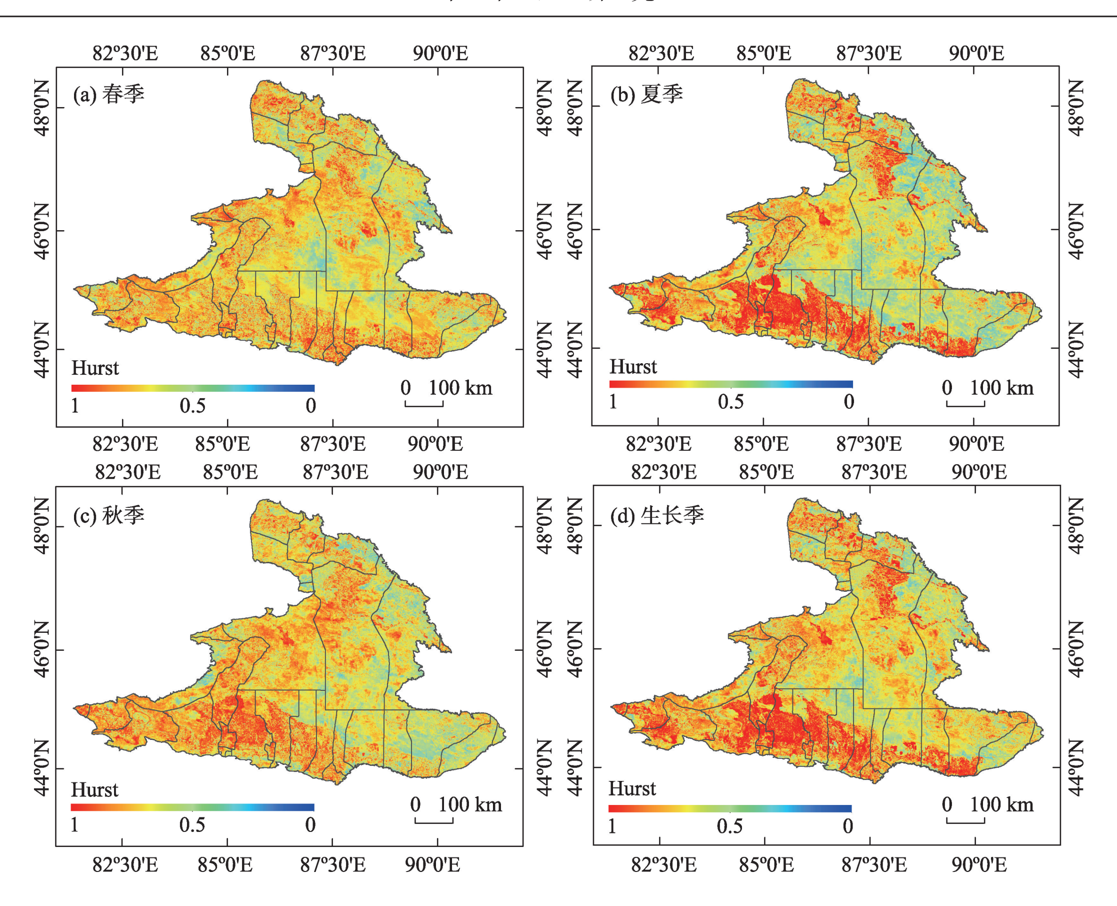


图2 准噶尔盆地各季节NDVI的Hurst变化趋势预测

Fig. 2 Prediction of seasonal change trend of NDVI Hurst in Junggar Basin

表3 2000—2019年准噶尔盆地SRSI各等级面积变化及占比

Tab. 3 The area and proportion of the SRSI trend rating in the Junggar Basin from 2000 to 2019

等级	春季		夏季		秋季		生长季	
	面积/(10^5 km²)	占比/%	面积/(10^5 km²)	占比/%	面积/(10^5 km²)	占比/%	面积/(10^5 km²)	占比/%
显著减少	1.48	39.51	0.79	21.15	0.62	16.63	1.21	32.34
一般减少	1.71	45.58	2.18	58.03	1.98	52.79	1.82	48.35
不变	0.15	3.93	0.18	4.68	0.20	5.31	0.17	4.64
一般增加	0.35	9.36	0.55	14.59	0.89	23.66	0.48	12.80
显著增加	0.06	1.62	0.06	1.55	0.06	1.62	0.07	1.86

部地区表现为增加趋势，增加区面积平均占比为16.77%。对比地形图可发现（图1），增加区域均为地形相对低洼，容易积水的区域，土壤类型多为盐碱化的荒漠灰钙土或盐土。盆地秋季土壤盐渍化呈一般性增加变化趋势的面积最大，分析该现象主要与秋季同比温度升高和降水增加关系密切。春季除绿洲区域外，盆地大部分区域土壤盐渍化呈显著性减少的趋势。

将植被变化与土壤盐渍化结果进行相关性分析（图4），在春季、夏季、秋季和生长季两者存在变化且又显著关联的地区绝大部分表现为土壤盐渍化程度减少，植被增加，或土壤盐渍化程度增加，植被减少，表明土壤盐分增加对植被生长有抑制作用，反之，有促进作用。结果中NDVI和SRSI两者呈显著负相关关系的面积各季节平均占比为87.51%，而呈显著正相关关系的面积平均占比为12.49%（表4）。另外，由于盆地绿洲盐渍化区域受农业活动的影响，春季这些区域表现为盐分增加植被减少。生长季则表现为盐分增加植被也增加，该现象是绿洲区植被与土壤盐渍化呈正相关关系面积的主要贡献者。夏季和秋季绿洲植被与土壤盐渍化两者之间的关系不紧密，该现象与农作物田间水肥调控密

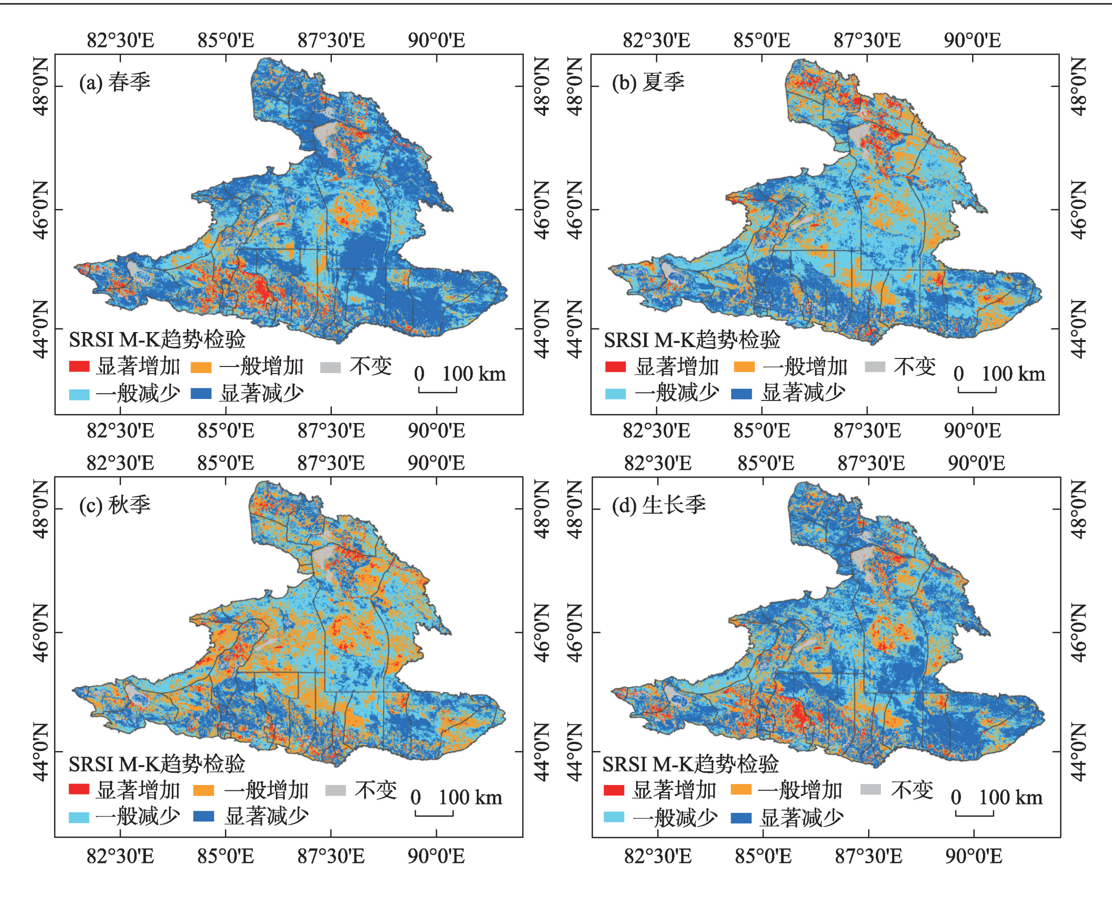


图3 准噶尔盆地各季节SRSI的M-K趋势检验

Fig. 3 The Man-Kendall trend test of seasonal SRSI in the Junggar Basin

切相关。

2.2.2 气候对植被变化的影响 采用1951—2019年气象数据分析准噶尔盆地"气温,降水量,水热配合程度"趋势变化(图5),图中数字组合"x,x,x"代表"气温,降水量,水热配合程度"变化等级组合(表1),准噶尔盆地69 a来气候变化总体表现为气温显著性升高,降水一般或显著性增加,水热配合程度在盆地大部分区域表现为一般性减小,即降水增加,并且降水趋于分布在一年中的两端,该降水格局的变化有利于荒漠区短命植物的生长繁殖,短命植物的春萌和秋萌数量增加,表现为荒漠中的植被在春秋两季呈现较为明显的增加趋势。结合表2可以看出,古尔班通古特沙漠春季植被有明显的增加趋势,且植被的生长情况好于夏季,秋季植被也呈较为明显增加趋势。说明季节植被趋势变化和当前盆地区域气候变化是相一致的。

2.2.3 人类活动对植被变化的影响 根据2000—2019年准噶尔盆地各生长季NDVI最大值平均值的计算结果,以NDVI最大平均值大于0.6作为绿洲植被指数阈值[21],提取绿洲面积,得到近20 a准噶尔盆地绿洲面积变化趋势(图6),近20 a研究区绿洲面积呈现增加趋势,分析原因主要与绿洲耕地面积扩大有关,从准噶尔盆地绿洲及农作物播种面积变化结果可知(图6),耕地面积在近年来增加明显,主要由于与滴灌农业的发展密切相关,滴灌在提高水资源利用效率的同时,促进了绿洲区域大面积盐碱地、荒漠、草地转变为耕地,极大的增加了可耕地面积,绿洲变的越来越绿。结果表明准噶尔盆地绿洲NDVI显著增加与人类农业活动直接相关。

3 讨 论

准噶尔盆地植被整体呈现增加变化趋势的结果与张清岚等[10]利用2000—2018年MODIS 13A3 NDVI月数据分析准噶尔盆地植被覆盖度变化结果一致。盆地绿洲区域面积扩大,NDVI呈显著增加趋势的研究结果与He等[15]和Zhao等[22]所得结论相同。通过分析盆地植被变化的原因,主要是区域气候暖湿化,冷季降水增加[23],土壤次生盐渍化的程

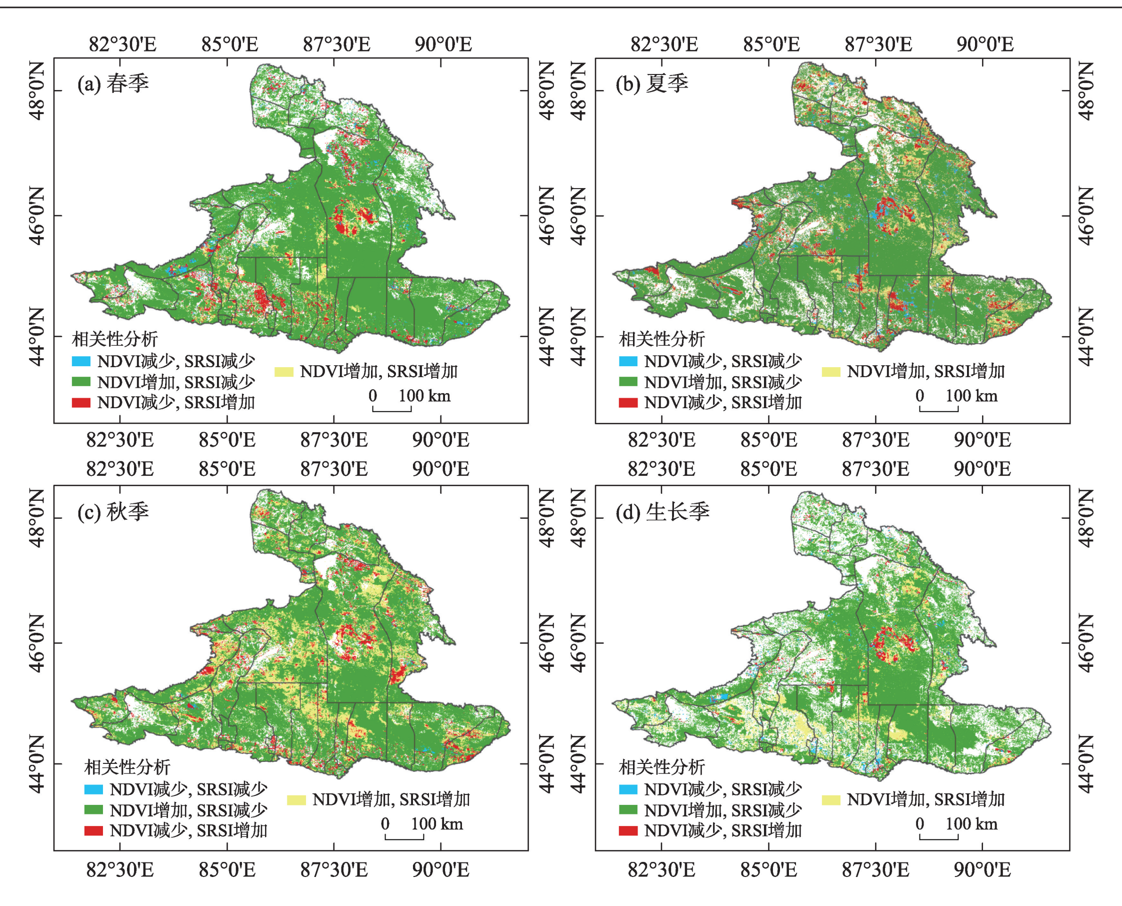


图4 准噶尔盆地各季节NDVI和SRSI存在趋势变化且呈显著相关的区域空间分布

Fig. 4 Regional spatial distribution that seasonal NDVI and SRSI have a trend change and a significant correlation in Junggar Basin

表4 准噶尔盆地各季节NDVI和SRSI存在趋势变化且呈显著相关的区域面积统计

Tab. 4 Regional area statistics that seasonal NDVI and SRSI have a trend change and a significant correlation in the Junggar Basin

等级	春季		夏季		秋季		生长季	
	面积/(10^5 km^2)	占比/%	面积/(10^5 km^2)	占比/%	面积/(10^5 km^2)	占比/%	面积//(10^5 km^2)	占比/%
NDVI减少,SRSI减少	0.09	3.38	0.17	5.99	0.05	1.86	0.05	2.89
NDVI减少,SRSI增加	0.15	5.76	0.21	7.42	0.20	7.34	0.06	3.28
NDVI增加,SRSI减少	2.23	86.92	2.24	80.19	2.10	75.40	1.54	83.74
NDVI增加,SRSI增加	0.10	3.93	0.18	6.40	0.43	15.40	0.19	10.09

度、滴灌技术的普及、经济利益的驱动、政策引导等多重作用的结果。其中气候变化是造成当前荒漠区域植被变化的主要驱动力，在气候变化大背景下，土壤次生盐渍化状况又成为影响植被生长的主要因素。如盆地大部分非盐渍化区域由于冷季降水的增加荒漠植被呈明显增加趋势，尤其表现为春季和秋季植被生长良好。该结果与段呈等[24]对古尔班通古特沙漠近30 a短命植物覆盖面积明显增加的结果相吻合，与Zeng等[25]所得古尔班通古特沙漠植物优势物种的密度和盖度与降水呈显著的正相关，降水增加促进短命植物物种丰富度增加的结论相一致，与陈志超等[26]对古尔班通古特沙漠南缘短命植物秋萌现象随秋季降水的增加而普遍发生的研究结果相互印证。

盆地气温的升高，降水量的增加也会导致局部地区(低平地，地势低洼，河水汇流处)土壤盐分升高。Ruhollah等[27]研究表明高程、坡度等地形参数会对土壤盐渍化的聚集有重大的影响。何宝忠等[11]的研究也表明地形的高低直接决定了地下水与地表水的流向，这使盐分会随着水流的流向而发

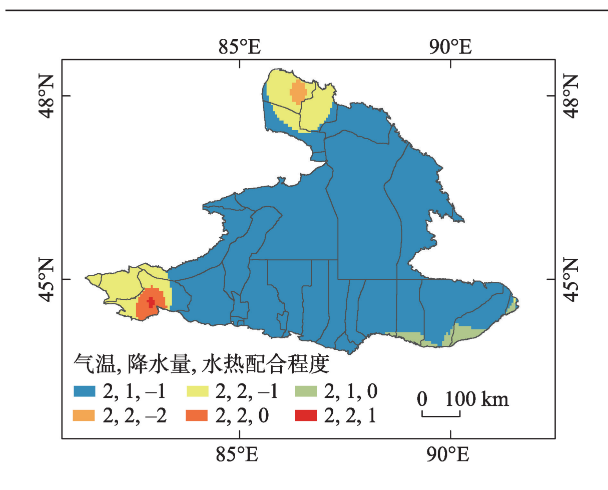


图5 准噶尔盆地气温,降水量,水热配合程度变化趋势空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of change trend of temperature, precipitation and hydrothermal coordination degree in Junggar Basin

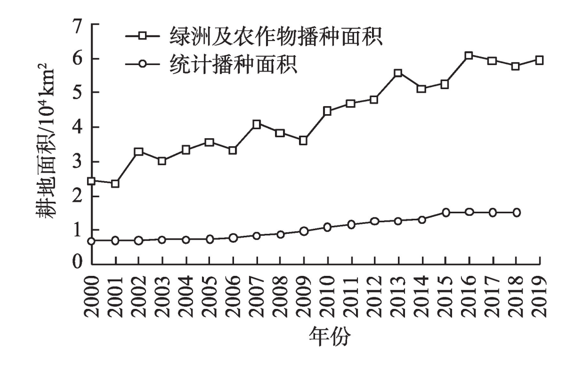


图6 准噶尔盆地绿洲及农作物播种面积变化趋势

Fig. 6 Trend change of the oasis and crop sown area in the Junggar Basin

生不同程度的聚集,地势较高的区域土壤盐渍化程度一般较低,地势较低的区域土壤盐渍化程度一般较高。均说明地形对土壤盐渍化程度的影响作用较大。本文分析发现易于产生盐渍化的区域地表温度较低(图7),蒋冲等[28]和郭瑞宁等[29]的研究表明土壤湿度与降水量呈正相关,与地表温度呈负相关,说明易产生盐渍化区域的土壤湿度大。随着气温的升高,土壤表层水分蒸发强烈,将地下水中的盐分通过土壤毛细作用不断向地表聚集,形成盐渍化土壤[30]。金晓媚等[31]在对土壤盐渍化与植被生长状况的研究中发现,在土壤含盐量最低时,NDVI达到最大值,植被覆盖状况最好,随着土壤含盐量的逐渐增大,NDVI减小。土壤盐渍化程度升高会对植被的生长产生负面影响,出现本研究所得的“植减盐增”现象。选取土壤盐渍化对植被影响最

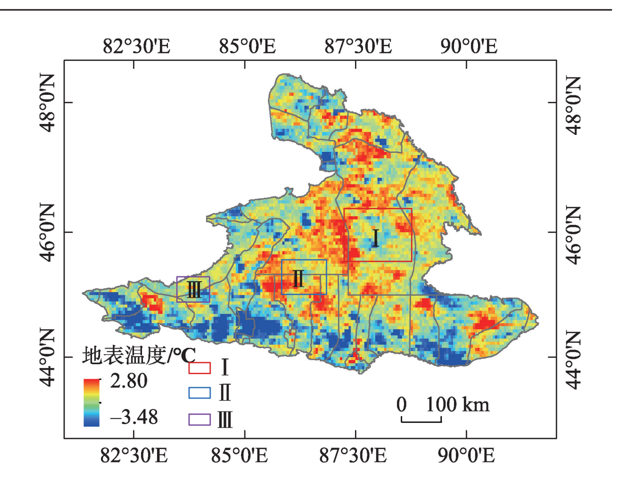


图7 准噶尔盆地白天地表温度Man-Kendall趋势分析

Fig. 7 Man-Kendall trend analysis of daytime surface temperature in the Junggar Basin

为典型的3个区域给予讨论,样地I区位于福海县的中部,样地II区位于和布克赛尔蒙古自治县与玛纳斯县交界处,样地III区域位于托里县、精河县和乌苏市的交界处,3个样地的地形均易发生次生盐渍化,气候变化情况均是“2,1,−1”模式,受当前温度、降水升高的影响,配合地形和土壤母质状况,这些区域均表现为地表盐分增加植被覆盖度降低。以上分析阐明了当前准噶尔盆地气候变化下一些特殊积水、聚盐地形上植被退化的机制,即温度升高,降水增加,蒸发及土壤毛管水作用增强,易将地下的盐分带到地表,地表盐分增加,植被减少之间的因果联系。

准噶尔盆地绿洲一些特殊积水地形虽也表现为地表土壤盐分呈增加趋势,但是受人类农业生产环境调控作用影响,特别是滴灌技术可使滴灌头下土壤水分接近饱和,水分扩散后形成一个半圆锥形的土壤浸润体,土壤盐分随水移动被淋洗到浸润体外围,结果使土壤耕作层盐分下降[32],促进了作物生长。在绿洲春季,因气温上升快,积雪融化,农业活动尚未完全展开,此时土壤盐渍化程度最重。表现为农业区植被除春季外,夏秋及整个生长季均呈增加趋势,而土壤盐分表现为春季呈增加趋势的面积占比最大,秋季次之,夏季最弱。农业区植被在生长季中整体表现为“植增盐增”模式,可得出在生长季NDVI和SRSI同为增加趋势,表明在绿洲区域与其他生态因子对植物生长的影响相比人类活动的绝对主导作用。

综上所述,在全球气候变化背景下,准噶尔盆地生态环境正发生明显性改变,区域植被受多种生

态因子变化的叠加作用影响,其响应过程和结局各异。今后需重点加强早春短命植物和旱生植物,如梭梭等关键物种对生境变化的响应研究,密切关注各生态过渡带植物群落物种组成的变化。

4 结 论

(1) 受准噶尔盆地气温升高,降水增加及降水季节分布格局变化的影响,2000—2019年间盆地植被春季、夏季、秋季和生长季整体呈现增加的趋势,增加区面积各季节平均占比达85.47%,局部地区表现为减少趋势,减少区面积平均占比为12.61%。

(2) 同样受区域气候暖湿化影响,准噶尔盆地土壤盐渍化程度整体呈现减少的趋势,减少区面积各季节平均占比达78.60%,增加区面积平均占比为16.77%。局部地势低洼易于积水、聚盐的区域土壤盐分呈增加趋势。

(3) 准噶尔盆地植被与土壤盐渍化两者整体呈明显的负相关关系,即"植增盐减"或"植减盐增"。绿洲区域植被变化主要受人类活动影响,表现为植被呈增加趋势,尤其是夏季增加最为明显。在盐碱地上整个生长季植被与土壤盐渍化表现为"植增盐增",表明盐分增加对农作物生长负效应相对于人类农业环境调控作用弱。

(4) 准噶尔盆地春、夏、秋和生长季植被Hurst指数值基本都大于0.5,即在大多数区域植被未来变化趋势方向与近20 a变化趋势方向基本保持一致。

参考文献(References):

[1] Shi Y, Shen Y, Kang E, et al. Recent and future climate change in Northwest China[J]. Climatic Change, 2007, 80(3): 379–393.

[2] Liang S, Yi Q, Liu J. Vegetation dynamics and responses to recent climate change in Xinjiang using Leaf Area Index as an indicator [J]. Ecological Indicators, 2015, 58: 64–76.

[3] 魏文寿, 高卫东, 史玉光, 等. 新疆地区气候与环境变化对沙尘暴的影响研究[J]. 干旱区地理, 2004, 27(2): 137–141. [Wei Wenshou, Gao Weidong, Shi Yuguang, et al. Influence of climate and environment change on dust storms in Xinjiang, China[J]. Arid Land Geography, 2004, 27(2): 137–141.]

[4] 范文波, 吴普特, 马枫梅. 膜下滴灌技术生态-经济与可持续性分析——以新疆玛纳斯河流域棉花为例[J]. 生态学报, 2012, 32(23): 7559–7567. [Fan Wenbo, Wu Pute, Ma Fengmei. Socio-economic impacts of under film drip irrigation technology and sustainable assessment: A case in the Manas River Basin, Xinjiang, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(23): 7559–7567.]

[5] 王全九, 王文焰, 吕殿青, 等. 膜下滴灌盐碱地水盐运移特征研究[J]. 农业工程学报, 2000, 16(4): 54–57. [Wang Quanjiu, Wang Wenyan, Lyu Dianqing, et al. Water and salt transport features for salt-effected soil through drip irrigation under film[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2000, 16(4): 54–57.]

[6] 李毅, 王文焰, 王全九. 论膜下滴灌技术在干旱–半干旱地区节水抑盐灌溉中的应用[J]. 灌溉排水, 2001, 20(2): 42–46. [Li Yi, Wang Wenyan, Wang Quanjiu. A breakthrough thought for water saving and salinity control in arid and semi-arid area under-film trickle irrigation[J]. Irrigation and Drainage, 2001, 20(2): 42–46.]

[7] Duan C, Wu L, He L, et al. Spatio-temporal distribution pattern of vegetation coverage in Junggar Basin, Xinjiang[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(2): 72–76.

[8] 张静. 准噶尔盆地表生生态环境演化及驱动力分析[D]. 西安: 长安大学, 2016. [Zhang Jing. The Evolution of Ecological Environment and Driving Forces of the Junggar Basin[D]. Xi'an: Chang'an University, 2016.]

[9] 刁鸣军, 夏朝宗. 1982—2013年准噶尔盆地植被长势变化分析[J]. 林业资源管理, 2016, 45(5): 39–46. [Diao Mingjun, Xia Chaozong. Analysis on the change of vegetation growth in Junggar Basin during 1982–2013[J]. Forest Resources Management, 2016, 45(5): 39–46.]

[10] 张清岚, 周纪云, 豆培建. 2000—2018年准噶尔盆地植被覆盖度时空变化遥感监测[J]. 黑龙江科学, 2020, 11(12): 8–10. [Zhang Qinglan, Zhou Jiyun, Dou Peijian. Remote sensing monitoring of spatiotemporal changes of vegetation coverage in Junggar Basin during 2000–2018[J]. Heilongjiang Science, 2020, 11(12): 8–10.]

[11] 何宝忠, 丁建丽, 王飞, 等. 基于物候特征的盐渍化信息数据挖掘研究[J]. 生态学报, 2017, 37(9): 3133–3148. [He Baozhong, Ding Jianli, Wang Fei, et al. Research on data mining of salinization information based on phenological characters[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(9): 3133–3148.]

[12] Gu F X, Zhang Y D, Yu C, et al. Primary analysis on groundwater, soil moisture and salinity in Fukang oasis of southern Junggar Basin[J]. Chinese Geographical Science, 2002, 12(4): 45–50.

[13] 张添佑, 王玲, 曾攀丽, 等. 基于MSAVI-SI特征空间的玛纳斯河流域灌区土壤盐渍化研究[J]. 干旱区研究, 2016, 33(3): 499–505. [Zhang Tianyou, Wang Ling, Zeng Panli, et al. Soil salinization in the irrigated area of the Manas River Basin based on MSAVI-SI feature space[J]. Arid Zone Research, 2016, 33(3): 499–505.]

[14] 陈实, 徐斌, 金云翔, 等. 北疆农区土壤盐渍化遥感监测及其时空特征分析[J]. 地理科学, 2015, 35(12): 1607–1615. [Cheng Shi, Xu Bin, Jin Yunxiang, et al. Remote sensing monitoring and spatial-temporal characteristics analysis remote sensing monitoring and spatial-temporal characteristics analysis of soil salinization in agricultural area of northern Xinjiang[J]. Scientia Geographical Si-

nica, 2015, 35(12): 1607-1615.]

[15] He L Y, Meng X Y, Du J, et al. Study on the ecological characteristics and change analysis of Xinjiang Junggar Basin based on the NDVI[J]. Nature Environment, 2014, 13(1): 191-196.

[16] Dai S P, Zhang B, Wang H J, et al. Vegetation cover change and the driving factors over northwest China[J]. Journal of Arid Land, 2011, 3(1): 25-33.

[17] Yang H, Yao L, Wang Y, et al. Relative contribution of climate change and human activities to vegetation degradation and restoration in north Xinjiang, China[J]. The Rangeland Journal, 2017, 39 (3): 289-302.

[18] Dinpashoh Y, Mirabbasi R, Jhajharia D, et al. Effect of short-term and long-term persistence on identification of temporal trends[J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2014, 19(3): 617-625.

[19] Jiang W G, Yuan L H, Wang W J, et al. Spatio-temporal analysis of vegetation variation in the Yellow River Basin[J]. Ecological Indicators, 2015, 51: 117-126.

[20] 张景华, 封志明, 姜鲁光, 等. 澜沧江流域植被NDVI与气候因子的相关性分析[J]. 自然资源学报, 2015, 30(9): 1425-1435. [Zhang Jinghua, Feng Zhiming, Jiang Luguang, et al. Correlation analysis of vegetation NDVI and climate factors in Lancang River Basin[J]. Journal of Natural Resources, 2015, 30(9): 1425-1435.]

[21] 张淼, 吴炳方, 于名召, 等. 未种植耕地动态变化遥感识别–以阿根廷为例[J]. 遥感学报, 2015, 19(4): 550-559. [Zhang Miao, Wu Bingfang, Yu Mingzhao, et al. Concepts and implementation of monthly monitoring of uncropped arable land: A case study in Argentina[J]. Journal of Remote Sensing, 2015, 19(4): 550-559.]

[22] Zhao X, Tan K, Zhao S, et al. Changing climate affects vegetation growth in the arid region of the northwestern China[J]. Journal of Arid Environments, 2011, 75(10): 946-952.

[23] Chen Y, Li Z, Fan Y, et al. Progress and prospects of climate change impacts on hydrology in the arid region of Northwest China [J]. Environmental Research, 2015, 139: 11-19.

[24] 段呈, 吴玲, 王绍明. 近30年古尔班通古特沙漠短命植物的时空格局[J]. 生态学报, 2017, 37(8): 2642-2652. [Duan Cheng, Wu Ling, Wang Shaoming. Analysis of spatiotemporal patterns of ephemeral plants in the Gurbantünggüt Desert over the last 30 years[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(8): 2642-2652.]

[25] Zeng Y, Liu T, Zhou X B, et al. Effects of climate change on plant composition and diversity in the Gurbantünggüt Desert of northwestern China[J]. Ecological Research, 2016, 31(3): 427-439.

[26] 陈志超, 石兆勇, 田长彦, 等. 古尔班通古特沙漠南缘荒漠秋萌短命植物多样性及其空间分布特征志超[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(5): 2016- 2018. [Chen Zhichao, Shi Zhaoyong, Tian Changyan, et al. Diversity and spatial distribution characteristics of ephemeral plants germinated in autumn in the southern edge of Gurbantunggut Desert[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2008, 36(5): 2016-2018.]

[27] Ruhollah T M, Budiman M, Feridon S, et al. Digital mapping of soil salinity in ardakan region, central iran[J]. Geoderma, 2014, 213: 15-28.

[28] 蒋冲, 王飞, 穆兴民, 等. 土壤湿度指数在黄土高原的适宜性评价[J]. 灌溉排水学报, 2012, 31(3): 31-36. [Jiang Chong, Wang Fei, Mu Xingmin, et al. Evaluation of the soil water index and surface soil moisture on the Loess Plateau[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2012, 31(3): 31-36.]

[29] 郭瑞宁, 郭青霞, 冯雨豪, 等. 基于TVDI的土壤湿度时空分布及影响因子分析[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(4): 52-58. [Guo Ruining, Guo Qingxia, Feng Yuhao, et al. Analysis of the factors affecting the spatiotemporal soil moisture distribution based on the Temperature- vegetation Drought Index[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2018, 37(4): 52-58.]

[30] 史晓杰, 万力, 张永庭, 等. 银北地区土壤盐渍化形成机理与模拟研究[J]. 水文地质工程地质, 2007, 51(6): 116-120. [Shi Xiaojie, Wan Li, Zhang Yongting, et al. Simulation model for soil salinization in the northern region of the Yinchuan Plain[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2007, 51(6): 116-120.]

[31] 金晓媚, 胡光成, 史晓杰. 银川平原土壤盐渍化与植被发育和地下水埋深关系[J]. 现代地质, 2009, 23(1): 23-27. [Jin Xiaomei, Hu Guangcheng, Shi Xiaojie. Relationship between soil salinization and the vegetation growing, groundwater depth in the Yinchuan Plain[J]. Geoscience, 2009, 23(1): 23-27.]

[32] 张伟, 吕新, 李鲁华, 等. 新疆棉田膜下滴灌盐分运移规律[J]. 农业工程学报, 2008, 24(8): 15-19. [Zhang Wei, Lyu Xin, Li Luhua, et al. Salt transfer law for cotton field with drip irrigation under the plastic mulch in Xinjiang Region[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(8): 15-19.]

Analysis of vegetation variation trend and correlative factors in Junggar Basin

MA Xiaomei, DU Bingchenxi, CHNEG Yongxiang, WU Ling
(College of Life Sciences, Shihezi University, Shihezi 832003, Xinjiang, China)

Abstract: To explore the response of vegetation to environmental change, the vegetation dynamic changes and correlative factors in the Junggar Basin were analyzed by using the maximum value composite method, Mann-Kendall, Hurst trend analysis, hydro-thermal coordination analysis, and other methods based on MOD09A1 remote sensing image data from 2000 to 2019. The results showed an increasing vegetation area in the Junggar Basin in the past 20 years due to the warming and wetting of the regional climate, the increase of precipitation in the cold season, and the popularization of drip irrigation technology. The average percentage of area where vegetation presented an increasing trend and a decreasing trend in each season was 85.47% and 12.61%, respectively. The low-lying areas prone to converge water and salt showed a decreasing trend in vegetation. The vegetation and salinization indexes were negatively correlated. Vegetation changes in oasis areas were mainly regulated by human activities. The results of the Hurst trend prediction showed that the future trend of vegetation change in the basin was basically consistent with the trend of vegetation change in the past 20 years. The results of this study have certain reference value for the succession and genesis of plant communities in different habitats of the basin under the background of global warming and human activities.

Keywords: climate; vegetation; salinization; correlation analysis